

RIASSUNTO TESI MAGISTRALE

Candidato: Marco Gabbrielli marco.gabbrielli@stud.unifi.it

Relatore: Augusto Smerzi augusto.smerzi@ino.it

Correlatore: Luca Pezzé luca.pezze@ino.it

La misura è la chiave della nostra comprensione della natura: grazie a misure sempre più precise la scienza ha progredito nella esplorazione di fenomeni più minuti, remoti e sottili. L'interferometria (ottica e, più recentemente, atomica) è la disciplina che si occupa di stimare le differenze di fase fra due onde (di luce o di materia); storicamente si è rivelata uno strumento di misura potente e flessibile: permette di raggiungere sensibilità estreme e ha vasto campo di applicabilità. L'attuale generazione di interferometri ottici e atomici è limitata dallo "shot noise", un limite fondamentale quando si voglia stimare uno sfasamento con sorgenti classiche. Negli ultimi anni è stato chiarito che la creazione di speciali correlazioni quantistiche fra particelle può essere sfruttata per aumentare la sensibilità interferometrica e superare le limitazioni imposte dalle tecnologie classiche.

Per migliorare la precisione nella stima della fase è necessario agire sullo stato di ingresso, sulla natura della trasformazione interferometrica oppure su entrambi. La strada che ha ricevuto maggiori attenzioni negli ultimi decenni è stata la prima, in riferimento a interferometri lineari: recentemente è stato infatti chiarito che l'impiego di sonde preparate in opportuni stati quantisticamente correlati permette di vincere lo shot noise e avvicinare il più fondamentale limite di Heisenberg; questo entanglement utile ai fini della stima della fase è riconosciuto e quantificato dalla Fisher information. Un'altra strategia per ottenere lo stesso obiettivo consiste nel considerare schemi interferometrici non lineari, in cui le proprietà di correlazione del sistema in ingresso non siano conservate: anche partendo da uno stato di ingresso classico, è possibile raggiungere il regime sub shot noise grazie all'entanglement creato dal dispositivo; in questo caso la relazione fra sensibilità in fase e correlazioni quantistiche non è ancora ben stabilita.

Scopo della tesi è lo studio delle prestazioni, in termini di sensibilità in fase, per un interferometro atomico non lineare. Il sistema fisico che si candida alla realizzazione di un simile dispositivo è il condensato di Bose-Einstein spinoriale, un gas degenere di bosoni in cui sono attivi gradi di libertà interni: in particolare, la dinamica di spin mixing crea correlazioni fra coppie di atomi modificando le popolazioni nei singoli modi magnetici e presenta una notevole analogia con il processo di four-wave mixing ottico.

Dopo aver dedotto la hamiltoniana completa che governa le interazioni a due particelle e discusso le numerose ipotesi semplificative adottate, facendo anche riferimento alle condizioni sperimentali tipiche, abbiamo investigato alcuni possibili regimi per la trattazione della dinamica, impiegando approssimazioni di cui è stato chiarito il campo di validità. Abbiamo infine proposto uno schema interferometrico per raggiungere il regime sub shot noise: esso ha il vantaggio di impiegare stati separabili in ingresso; non richiede l'implementazione di un beam splitter atomico e quindi appare più semplice da realizzare in laboratorio; può essere utilizzato in misure precise di campi magnetici.